

氏 名	高本 與志久
学 位 の 種 類	博士 (工学)
学 位 記 番 号	博乙第 285 号
学位授与の日付	平成 17 年 3 月 22 日
学位授与の要件	論文博士 (学位規則第 4 条第 2 項)
学位授与の題目	ディーゼル燃焼の支配要因とその燃焼改善に関する研究
論文審査委員 (主査)	岡島 厚 (自然科学研究科・教授)
論文審査委員 (副査)	木村繁男 (自然計測応用研究センター・教授), 新宅 救徳 (自然科学研究科・教授), 上野 久儀 (自然科学研究科・教授), 小保方 富夫 (群馬大学・教授)

## 学 位 論 文 要 旨

On the basis of heat release progresses for the various operating conditions acquired from a quiescent D.I. diesel engine, the quantitative relations hold among the values related to the combustion are examined by experiment. Subjects on a method for dividing the burning period, on the burning characteristics for each period, on the relations among the values, and on the values expressing the mixing function of the fuel spray as well as the burning performance of the period are included. Discussions on the burning mechanism of the fuel spray are also given.

The effect of squish motion of air on the promotion of combustion in a diesel engine is studied by experiment. On the basis of correlation between the speed of combustion in each combustion period and the squish velocity through the throat of a piston cavity which was set by a couple of means i.e., changing the throat diameter and changing the engine speed, the following conclusions are obtained: In the period during which fuel injection continues, both the speed of mixture formation and the speed of combustion increase proportionally to air velocity. This effect is remarkable, especially in the controlled combustion period. In the after burning period, turbulent flow is influential. But the turbulence induced by squish motion has small effect compared with that induced during intake stroke.

It is crucial demand nowadays to decrease exhaust emissions, especially decrease in smoke level at late injection timings is important when intending to decrease nitrogen oxides. An effectiveness of multiple spray plumes injected near-by nozzle holes on the combustion characteristics was investigated using a quiescent chamber diesel engine, aiming to improve mixture formation and combustion by the cooperative action between spray plumes under conventional fuel supply pressure. As a result, it was found that the shorter the distance between nozzle holes and the larger the diameter of nozzle holes brought more intense promotion of combustion, enabling smoke level to decrease to half of that of standard nozzle, while no decrease in power output of the engine was identified.

ディーゼル機関は燃料経済性に優れ、二酸化炭素の排出が少ないことから、従来ガソリン機関が主流を占めてきた乗用車用の機関にも用いられるようになってきたが、排気中の黒煙と窒素酸化物を環境基準レベルまでに低減することが求められている。これらの発生は非定常・拡散燃焼を特徴とするディーゼル機関の燃焼過程にゆらいするため、その抑制には燃焼過程に関与する要因を明らかにし、それにもとづいて燃焼の改善を図ることが重要となる。

本研究はディーゼル機関の混合気形成と燃焼を支配する主要な要因について、実際の機関の燃焼を解析することにより検討し、得られた知見に基づいて新たな燃焼システムを提案し、その燃焼改善効果について検討した。

ディーゼル燃焼の基本とみなせる無渦流直接噴射式ディーゼル機関の燃焼を支配する要因を、運転変数によって生じる燃焼に関係する諸量の変化に基づいて基本的な関係を表す実験式を導くことにより明らかにした。燃焼の支配要因は各燃焼期によって異なり次のように要約される。

着火遅れはアレニウス形の式で表される。測定値から着火が起きる温度を推定すると、シリンダ平均ガス温度よりかなり高く、運転条件による差異があらわれる。着火が起る場所は噴霧が衝突する壁面近傍の空間にあり、運転状態によって燃焼室の温度分布の相違が着火遅れに表れる。研究者による式の係数の違いは熱力学的な空間平均温度と実験装置・方法に影響される局所的な温度分布との差異による。

急激燃焼期で燃える燃料、すなわち混合気は着火遅れ期間ばかりでなく急激燃焼期においても形成される。この混合気形成量は噴霧の発達に依存し、急激燃焼終わりまで燃料噴射が継続する場合、それまでに噴射された燃料量に伴って増加する。また、混合気形成量は時間とともに急速に増加するが、平均の混合気形成速さは混合気形成量に比例する。

制御燃焼期の燃焼を支配する基本因子は、急激燃焼後に噴射される燃料量であり、制御燃焼期における燃焼量、燃焼割合、燃焼速さはいずれもこの燃料量に支配される。燃料噴霧の流動に伴う燃焼促進効果を考慮した広義の制御燃焼期の区分法を提案し、その燃焼速さは噴霧の表面積一体積比に比例することを示した。

混合気形成と燃焼に影響する気流の一例として、リエントラント形燃焼室内に生じるスキッシュ流動の場合を取り上げ、この気流の特性と燃焼に及ぼす効果を検討した結果、以下のことが明になった。

圧縮行程中に燃焼室くぼみ内に発達するガス流動の強さとパターンはくぼみ入口径によって変わるが、くぼみ空間の平均流速は理論押し込み速度の最大値に比例して増加する。口径比 0.4 以下では、空間平均流速は上死点で理論最大押込速度の 50%以上に達し、上死点後 30° でも 8 割程度の平均流速が残る。スキッシュによる平均の乱れ強さと空間スケールは吸気過程で生じる乱れやスワールによるものよりも小さい。回転速度が上昇すると平均流速と乱れ強さは比例して強まるが、流動のパターンおよび乱れの空間スケールは変わらない。

急激燃焼終わりまでの平均混合気形成速さと制御燃焼期の平均燃焼速さはくぼみ空間の平均流速に比例して増加し、特に制御燃焼期の促進効果は著しい。後燃え燃焼期の平均燃

焼速さは主に乱れ強さに依存し、給気流入時に生じた乱れのほうが燃焼の促進に有効である。

無過流機関では噴霧の発達が燃焼の支配要因であることから、噴霧の到達距離、分散、粒径を制御することによって燃焼を改善する方法を検討する。ここでは、多孔ノズルの噴孔をそれぞれより小さな径の噴孔で分割し、噴孔の数と配置を設定することによって噴霧特性を変える方法を考案した。この噴孔群噴霧の特性を知るために数値シミュレーション法について検討した。次に、次いで、実機を用いて燃焼と排ガス特性に及ぼす効果について検討した。

隣接格子間で生じる液層と気相間の相対速度の誤差をガス噴流と噴霧に関する経験式に基づいて補正する方法（RVC モデル）を開発した。この方法を KIVA-3V コードに適用し、噴霧形状と噴霧先端到達距離について実験結果を比較し、RVC モデルは荒い計算格子でも有効であることが明らかにした。

噴孔間隔が狭く、噴孔数が少ないほど噴霧間の干渉作用が強くなるが、このような噴孔群噴霧の燃焼は主燃焼期の燃焼が遅い時期まで活発であり、噴霧の貫徹力が強く、ピストン上面に衝突・反転して燃焼が促進される。最もよい条件では、出力の低下なしに排煙濃度は標準のその約半分程度まで低下する。

燃焼の促進には壁面衝突噴流が有効なことより、浅皿式燃焼室の側壁にくぼみを設け、壁面に衝突する噴霧流動によって燃焼を促進する方法を提案し、燃焼室内の噴霧の挙動と燃焼状態を観察し、燃焼解析と排出ガス分析を行なってその効果を検討した。

側壁に斜めに噴霧が衝突する場合、衝突噴霧によって弱いが旋回流が生じ、これが燃焼後半の燃焼を促進し、煙濃度を低下させる。この効果は特に噴射時期の遅延にともなう燃焼の悪化を抑えることに対して有効であり、煙濃度と窒素酸化物の同時低減が実現できる。

## 学位論文審査結果の要旨

第1、2回学位論文審査委員会を平成16年12月18日、平成17年1月28日に開催し、1月28日口頭発表を行い、同日最終審査委員会を開催した。協議の結果、以下の通り判定した。申請者は、1974年3月、本学工学研究科修士課程機械工学専攻を修了し、1990年より本学工学部講師、現在、本学自然科学研究科講師である。

申請論文は、「ディーゼル燃焼の支配要因とその燃焼改善に関する研究」と題し、環境問題として注目されているディーゼルエンジンの排ガス浄化に対してディーゼル燃焼改善の視点からその支配要因を実機による綿密な計測実験を行った。同時に汎用の数値シミュレーション・コード（KIVA-3A）をベースに物理的考察に基づく経験式を新たに導入した修正コードによって燃料噴射の挙動を計算し、その結果が実測結果と良く一致することからその妥当性を示した。そして、ディーゼルエンジンの混合気形成と燃焼を支配する主要な要因について実際にエンジンを運転してその燃焼状態、燃焼ガス成分を実測・解析し、そして得られた多くの知見から新たな燃焼システムを提案し、その燃焼改善効果について検討している。特に、壁面衝突噴流による燃焼が排ガス特性に著しい改善効果をもつことを示した。

以上、申請論文はディーゼル燃焼の支配要因とその燃焼改善に注目して実機における燃焼改善効果を実機の運転試験と数値シミュレーションによって系統的に明らかにしたもので、ディーゼル燃焼改善の観点からのエンジンの排ガス浄化に資するところ大であり、博士（工学）論文として値するものと認定した。